

ÉRTEKEZÉSEK EMLÉKEZÉSEK

BERÉNYI DÉNES

MEGINT ATOMFIZIKA?



55

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

ÉRTEKEZÉSEK
EMLÉKEZÉSEK

ÉRTEKEZÉSEK EMLÉKEZÉSEK

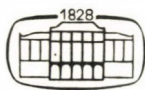
SZERKESZTI
TOLNAI MÁRTON

BERÉNYI DÉNES

MEGINT ATOMFIZIKA?

AKADÉMIAI SZÉKFOGLALÓ

1986. MÁRCIUS 19.



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

A kiadványsorozatban a Magyar Tudományos Akadémia 1982.
évi CXLII. Közgyűlése időpontjától megválasztott rendes és
levelező tagok székfoglalói — önálló kötetben — látnak
napvilágot.

A sorozat indításáról az Akadémia főtitkárának 22/1/1982.
számú állásfoglalása rendelkezett.

ISBN 963 05 4475 X

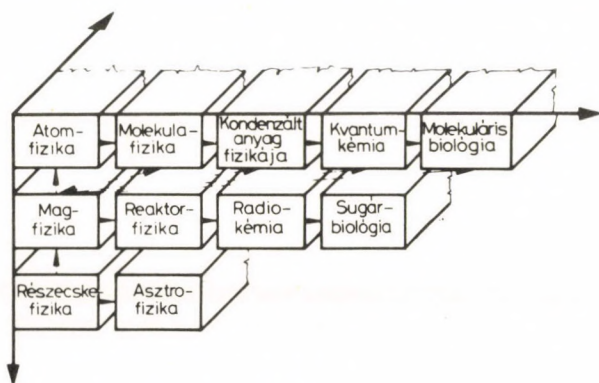
© Akadémiai Kiadó, Budapest 1987 — Berényi Dénes

Printed in Hungary

1. TUDOMÁNYFEJLŐDÉSI TENDENCIÁK

Vannak, akik a fizika fejlődési irányát egy dimenzióban képzelik el. Úgy gondolják, hogy valamikor a fizikai kutatások aktuális területe a mechanika volt, ezt azután felváltotta az elektromos-mágneses jelenségek tanulmányozása, majd az atomfizika és az atommagfizika, és – szerintük – ma a modern fizikát egyértelműen a részecskefizika jelenti.

A valóságban a fizika fejlődése sokkal bonyolultabban megy végbe és általában összefonódik a természettudományok fejlődésével. A természettudományok fejlődését ugyanis egy háromdimenziós sémával adhatjuk vissza a legreálisabban (lásd 1. ábra). Az atomok



1. ábra

A természettudományok fejlődési irányait
sematikusan reprezentáló
háromdimenziós koordináta-rendszer

ugyanis molekulákká kapcsolódnak össze (kémia!), és ezen a vonalon továbbmenve eljutunk a szilárdtest-jelenségekig, sőt, a molekuláris biológiáig. Anélkül, hogy ennek további részleteibe itt belemennénk, hangsúlyoznunk kell, hogy ugyanakkor a fejlődés egy harmadik irányban, dimenzióban is folyik. Arról van szó, hogy a mechanika pl. nem zárult le, hanem igen aktuális kérdések vizsgálatával tovább folyt és folyik ma is. Gondoljunk pl. arra, hogy a számítógépek alkalmazása és a mesterséges holdak felhasználása az égi mechanika előtt teljesen új távlatokat nyitott, azt tulajdonképpen kísérleti tudománnyá tette. Arról nem is beszélve, hogy a mechanikával összefonódott gravitációs kutatások íve Newtontól Einsteinen keresztül napjainkig tart.

Az is lehet azonban, hogy a tényleges fejlődés útja még bonyolultabb vagy legalábbis egészen elütő a felvázolt háromdimenziós képnél. Gondoljunk csak az egyik, ma igen aktuális kutatási területre, a kaotikus jelenségek kutatására. Ezt fizikusok indították alig tíz évvel ezelőtt. Ezek a kutatások a közös törvényszerűségeket keresik az áramló víz és gáz tömegek kaotikus áramlásában, az állatpopulációk számának végtelen ingadozásában és a szív aritmiájában. Mindezekben nem annyira maga a kaotikusan örvénylő anyag a lényeges, hanem a folyamat, amely hasonlóan mutatkozik a hurrikánok és szívinfarktusok esetében.

Valójában tehát a fizika fejlődése más természettudományokkal szorosan összefonódva megy végbe, és ennek a három dimenzióban történő fejlődésnek az élföntjában (pontosabban „élfelületén”) nemcsak a részecskefizika helyezkedik el, de az asztrofizika, a molekuláris biológia, a plazmafizika, a Rydberg-atomok vizsgálata stb. Ezek között feltétlenül helye van a modern atomfizikai vizsgálatoknak is.

A fizika és más természettudományok összefonódásával kapcsolatban érdemes itt megjegyezni, hogy a fizika bizonyos értelemben mindig kitüntetett szerepet töltött be a természettudományok fejlődésében akár az alapvető kutatási metodika kidolgozásában, akár instrumentális tekintetben, de főleg a legalapvetőbb természeti jelenségekre vonatkozó törvények felderítésében.

2. AZ ATOMI ÜTKÖZÉSEK A MODERN ATOMFIZIKÁBAN

A fentiek magyarázzák ennek a dolgozatnak a címét is, vagyis azt, hogy ma megint érdemes az atomról beszélni, pontosabban ilyen irányú kutatásokat végezni.

Az utóbbi egy-két évtizedben az atomfizika területét, főleg a lézer- és az atommagfizika technikájának az alkalmazása „forradalmasította”. Ebben az előadásban természetesen még vázlatosan se fedhetjük le ezt az egész területet, hanem csak az atomi ütközések téren elért egy-két jellemző, érdekesebb eredményünket szeretnénk bemutatni.

Az atom vizsgálata a legutóbbi egy-két évtizedig elsősorban a legkülső atomi elektronhéjak kutatását jelentette, illetve az olyan atomi jelenségeket, amelyekben legfeljebb egy-két vakancia keletkezik az atomi elektronburokban.

Az elektron- és ionágyúk, de főleg az atommagfizikai gyorsítók és az ezekhez kapcsolódó egyéb technikák alkalmazásával lehetőség nyílt az olyan atomok vizsgálatára, amelyek akár csak egy-két elektront tartalmaznak (ezek az ún. hidrogénszerű és héliumszerű atomok), egészen az uránig.

Felmerülhet a kérdés: mit remélhetünk az ilyen kutatásoktól? Mindenekelőtt nyilvánvaló, hogy az atom szerkezetének egészen új aspektusáról van szó, de nemcsak erről. Míg a

mag- és részecskefizikában ismereteink egy jó részét az ún. szórás kísérletekből szereztük, addig az atomfizikában az utóbbi időkig a spektroszkópiai jellegű kísérletek szinte kizárólagosak voltak. Pedig a szórási folyamatok törvényeinek megismerésére igazában az atomi ütközések az alkalmasak, mert itt a kölcsönhatás ismert, ti. Coulomb-jellegű, nem úgy mint a nukleáris szórásjelenségek esetében. Így tehát a szórásfolyamatokra vonatkozóan itt szerezhető információk alapvető fontosságúak.

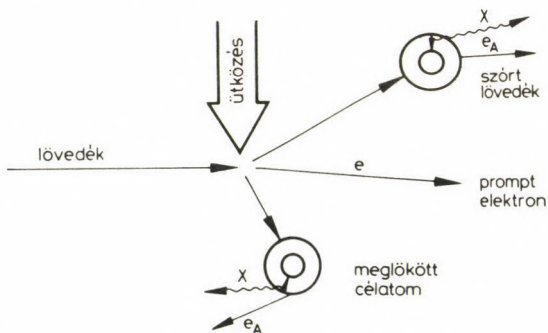
Az ion-atom ütközésekből különben más fundamentális információkat is kaphatunk. Itt megemlítem pl. az ún. Lamb-eltolódási kísérleteket vagy a szuperkritikus elektromágneses terekben (pl. urán-urán ütközésben) megfigyelhető atomi jelenségeket. Mindezekben a legszilárdabban megalapozottnak tartott térelméletünk, a kvantumelektrodinamika érvényességi határait tapogattjuk le.

3. AZ ATOMI ÜTKÖZÉSEKRŐL ÁLTALÁBAN

Az atomi ütközési folyamatokban szerepelnek lövedékek (bejövő részecskék), célatomok (molekulák) és kijövő részecskék. Ez utóbbiak lehetnek (lásd a 2. ábrát):

- szórt ionok (illetve az ütközési folyamatban megszóródott részecskék),
- meglökött célatomok,
- prompt elektronok (az ütközési folyamatból magából kilépő elektronok),
- a szórt vagy meglökött ionokból kilépő röntgenkvantumok és Auger-elektronok.

A prompt, illetve a tulajdonképpeni ütközés után történő kilépés csak gyors lövedékek esetén különböztethető meg, gyors vagy lassú lövedékről pedig mindig a szóban forgó elektronhéjon lévő elektron sebességéhez viszonyítva beszélhetünk.



2. ábra

Az atomi ütközési folyamat sémája

Mindazokat az információkat, amelyeket az atomi ütközésekről vagy ütközésekből nyerhetünk, az alábbi típusú mérésekből szerezhethetjük meg:

- a szórt ionok (elektronok) energiája, szögeloszlása, töltésállapota,
- a kilépő elektronok energiája és szögeloszlása,
- a kilépő röntgensugárzás energiája és szögeloszlása,

adott (kísérletileg meghatározott) energiájú és töltésállapotú lövedékek esetén. Az előbbi mérések azután kiegészülnek különböző koincidenCIAelrendezésekben végzett vizsgálatokkal.

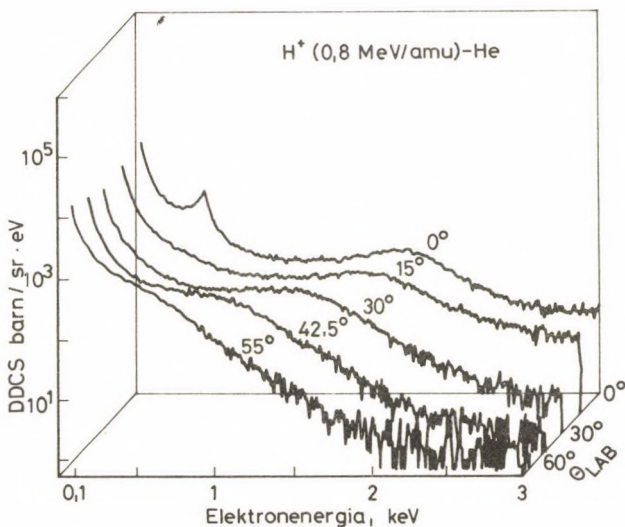
Az eddigiekre vonatkozóan számos összefoglaló, áttekintő cikket lehet találni, itt az [1–10] irodalmi hivatkozásokra utalunk.

4. NÉHÁNY EREDMÉNY NAGY ENERGIAJÚ ION-ATOM ÜTKÖZÉSI JELENSÉGEKRE VONATKOZÓLAG

Az atomi ütközések tanulmányozását mintegy tizenöt éve kezdtük meg intézetünkben. Ez alatt a másfél évtized alatt elektronokat, pozitronokat, protonokat és nehezebb ionokat használtunk lövedékként igen széles becsapódási energiatartományban (60 keV-től 220 MeV-ig). A vizsgálatok egy része szoros nemzetközi együttműködések keretében folyt (EAI, Dubna; Frankfurti Egyetem Magfizikai Intézete). Ezekről az eredményekről több mint száz cikkben és számos előadásban számoltunk be. Ezek teljességét, de még a legfontosabb eredményeket sem lehet — természet-szerűleg — bemutatni egy ilyen előadás keretében. Inkább csak példaképpen szeretnék itt tárgyalni egy-két eredményt a legutóbbiak közül, éspedig a szóban forgó folyamatokból eredő elektronok vizsgálatáról, amelyek az utóbbi időben a magam és legközelebbi munkatársaim érdeklődésének leginkább az előterében álltak.

4.1. Elektronbefogás folytonos állapotba

Az ion-atom ütközésekből eredő elektronok spektrumának vizsgálatát mintegy húsz évvel ezelőtt kezdték meg [11, 12]. Ebben a



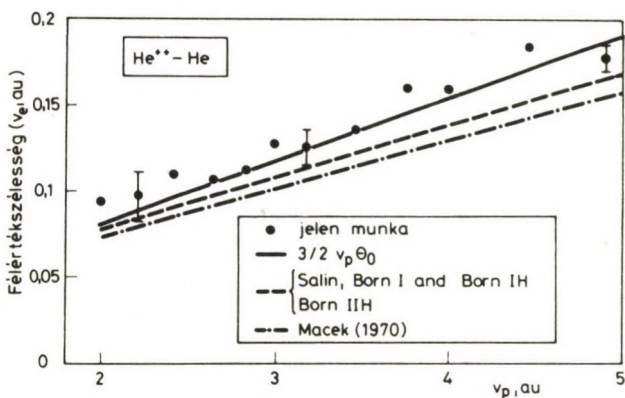
3. ábra

A H^+ -He ütközésből (0,8 MeV lövedékenergiánál) kilépő elektronok spektruma a lövedék irányához képest különböző kilépési szögekben [14].
 0° -nál megfigyelhető az ún. „cusp” csúcs

spektrumban észlelték néhány évvel később [13] azt az anomáliát, amelynek teljes felderítése most tizenöt év múltán is hiányos, és amelynek vizsgálatába a nyolcvanas években mi is bekapcsolódtunk [14–19]. Arról van szó, hogy a lövedék irányában (tehát 0° körül) teljesen csupasz, vagyis elektronok nélküli lövedékek esetében (pl. H^+) felvett elektron-spektrumban éppen annál az energiánál, amelyik megfelel a lövedék sebességének, egy igen széles, nagyon intenzív csúcs figyelhető meg (lásd a 3. ábrát). Ezt a csúcsot idegen szóval „cusp”-nak hívják.

Az nagyjából világos, hogy itt egy háromtest-problémáról van szó (lövedék, célatom, kirepülő elektron), és a kísérleti adatok magyarázatát valahol abban az irányban kell keresni, hogy a lövedék időlegesen mintegy magával ragadja a célatom egy elektronját (pontosabban az ún. kontinuumállapotokba való befogásról van szó). Számos elméleti munka jelent meg erre a jelenségre vonatkozólag (pl. [20–23]). A helyzetet még csak komplikálja, hogy olyan esetekben, amikor a lövedéknek saját elektronja is van (pl. He^+), akkor is fellép egy hasonló „cusp”, de az erre vonatkozó kísérleti adatok (csúcshélesség, -alak, intenzitás stb.) némileg különböznek attól, amelyik a csupasz lövedékek esetében fellép (pl. [24–26]). Az előbbi jelenség analógiájára ez volna az elektronvesztés a kontinuumállapotokba. A téma aktualitását mutatja, hogy 1984 nyarán külön csak ezekre a „cusp”-jelenségekre vonatkozólag egy nemzetközi szimpóziumot rendeztek, ahová az egész világról összejöttek a „cuspológusok” [27].

A helyzet az, hogy nemcsak az elméleti értelmezés terén voltak és vannak problémák, de a méréseket illetően is ellentmondások és hiányok mutatkoztak. Így a mi vizsgálataink alapvetően hozzájárultak ehhez az érdekes jelenségcsoporthoz, illetve az ezzel kapcsolatos problémák megoldásához [28, 29]. Így pl. kimutattuk, hogy a félértékshélesség változása a He^{++} -He ütközéseknél (4. ábra) a „legprimití-

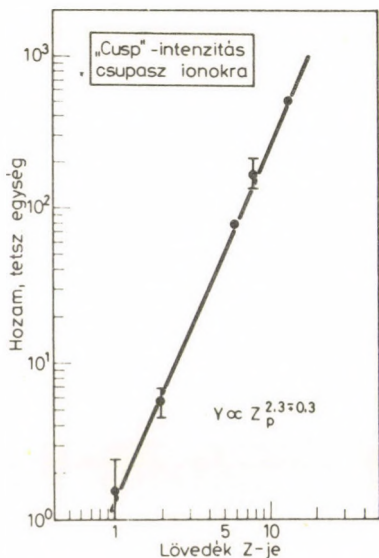


4. ábra

Az elektronspektrumban 0° környezetében észlelhető anomális csúcs (lásd a 3. ábrát) félértékszélességének változása a lövedék sebességének (energiájának) a függvényében [28]

vebb” elméletet követi [30], amely egyébként a „cusp” más kísérleti paramétereinek leírására alkalmatlan.

Külön érdekes problémát jelent a „cusp” intenzitásának függése a lövedék Z -jétől. A különböző elméletek erre Z^3 körüli értéket adnak. Kísérleti adatok viszont a mi méréseink előtt csak nehezebb ionlövedékek esetén voltak, holott a H^+ és a He^{++} között a legnagyobb a Z változása. A nehézionos mérésekben a Z kitevőjére $2,3 \pm 0,3$ -et kaptak. A mi méréseink a legdöntőbb tartományban megerősítették ezt, $2,5 \pm 0,3$ -as értéket szolgáltatva. A mi mérési adatainkat és a korábbi adatokat lásd az 5. ábrán.



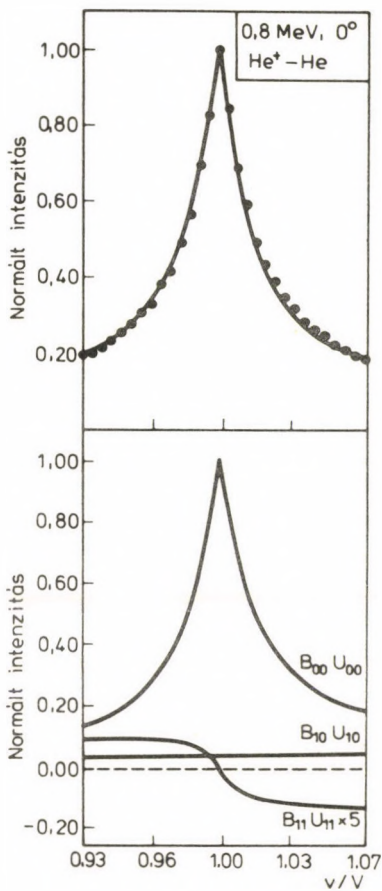
5. ábra

A „cusp” csúcs (lásd a szöveget és a 3. ábrát) intenzitásának Z -függése [19].

A $Z=1$ és 2 esetében a mi méréseinkről van szó

Mind a He^{++} , mind a He^+ esetében (mindkét esetben He célatomnál) pontosan meghatároztuk a szóban forgó csúcs alakját, azt komponensekre bontva (sorfejtéssel). Mindkét esetben addig ismeretlen új kísérleti adatokhoz jutottunk, de a He^+ esete az első ilyen kvantitatív vizsgálat a csúcsalakra, az elektronvesztéses „cusp”-ra vonatkozólag (lásd a 6. ábrát).

Anélkül, hogy idevonatkozó eredményeinket tovább részletezném, végül megemlítem, hogy mind a kiértékelésekre, mind a különbö-



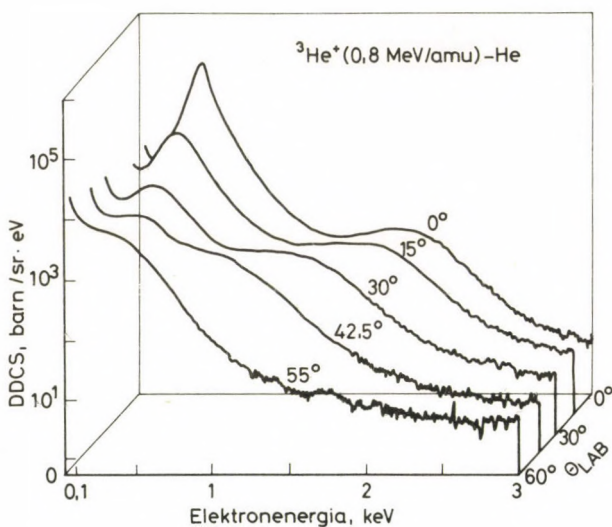
6. ábra

A 0° -nál jelentkező anomális csúcs alakjának komponensre bontással megadott pontos alakja He^+ -lövedék esetében [29]

ző szerzők intenzitásadatainak összehasonlítására vonatkozó régen vitatott problémákat is sikerült megoldanunk.

4.2. Elektronvesztés ion-atom ütközésekben

Az ion-atom ütközési folyamatokban különös érdekessége van azoknak az ütközéseknek, amelyekben a bejövő ionnak is van elekt-



7. ábra

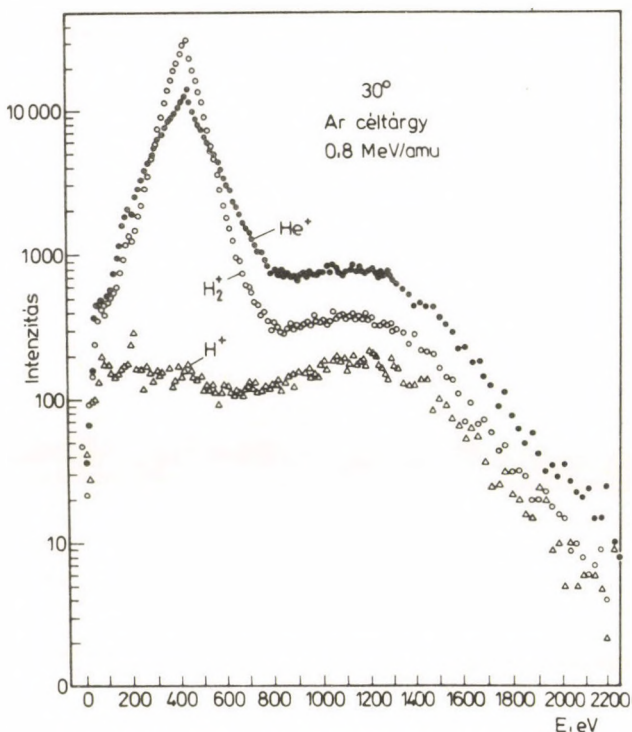
A $^3\text{He}^+$ -He ütközésből (nukleononként 0,8 MeV becsapódási energiánál) kilépő elektronok spektruma a lövedék irányához képest különböző kilépési szögekben [14]

ronja. Itt olyan jelenségek lépnek fel, mint a lövedékion árnyékolása („effektív Z ”) és az elektronvesztés.

Az előbbiekben már láttuk, hogy az elektronokkal rendelkező lövedékeknel a bejövő nyaláb irányának megfelelő szögben jelentkezik egy anomális csúcs, amely sok tekintetben hasonló (de nem azonos!) a csupasz (elektron nélküli) lövedékeknel észlelhető anomális csúcshoz. Csakhogy, amíg az utóbbi esetben a szóban forgó csúcs intenzitása rohamosan esik a 0° szögnél nagyobb szögek felé, addig elektronnal rendelkező lövedék esetén a csúcs egészen 180° -ig észlelhető (vö. a 3. és 7. ábrát). Ez az ún. elektronvesztési csúcs.

A széles elektronvesztési csúcsra vonatkozólag az elektronspektrumokon (8. ábra) számos vizsgálat történt (pl. [32–36] és további hivatkozások [31]-ben), mi is több eredményt elértünk ezzel kapcsolatban (pl. [31], [37–39]).

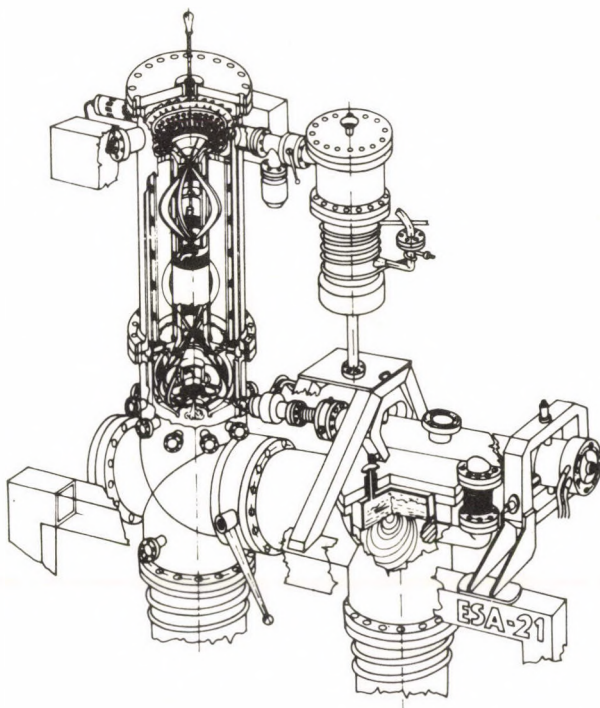
Legfigyelemreméltóbb eredményeinket itt is, mint több más esetben is (lásd később) egy, a világon egyedülálló, ESA–21 jelű új elektronspektrométerrel értük el (lásd pl. [31]), amelynek belső elrendezését és benne a sugármenetet a 9. ábra mutatja. Ennek tervezése és kivitelezése teljesen az intézetben készült, Varga Dezső vezetésével. Segítségével egyidejűleg lehet az elektronenergia-spektrumot mérni tizenhárom szögben 0° -tól 180° -ig.



8. ábra

Példák az elektronvesztési csúcsra vonatkozólag
ion-atom ütközésekben [31]

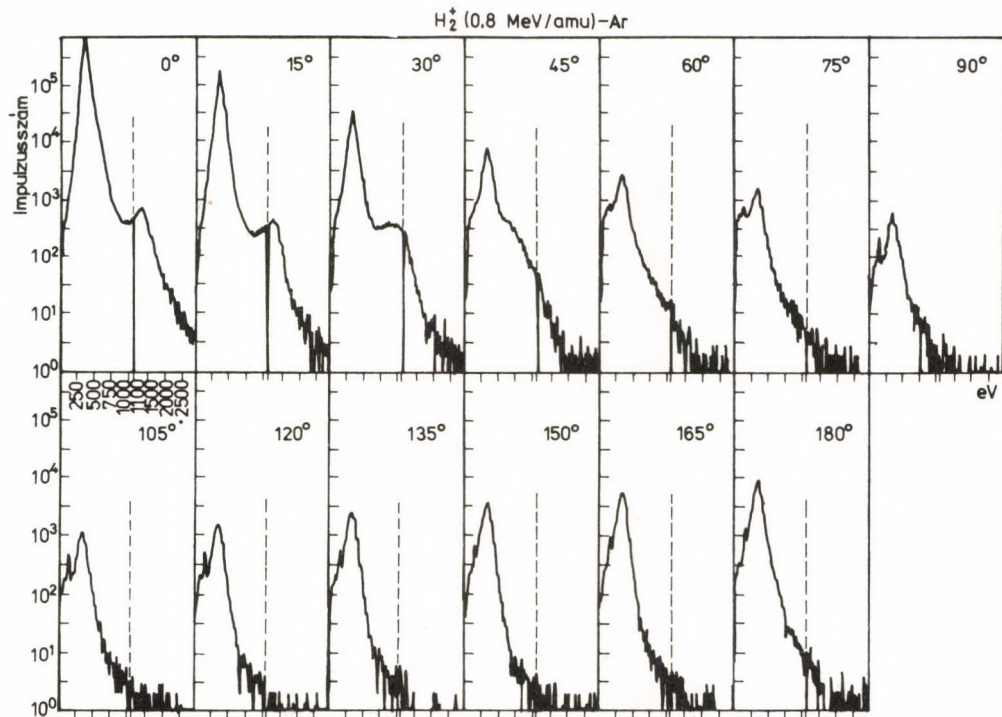
A 10. ábra mutatja az elektronspektrumot az elektronvesztési csúccsal, tizenhárom szögben a $H_2^+(0,8 \text{ MeV/amu})$ -Ar ütközésben. Ilyen mérések analiziséből, amelyeket egyébként intézetünk 5 MV-os Van de Graaff-gyorsítójának nyalábján végeztünk, olyan adatsorokat



9. ábra

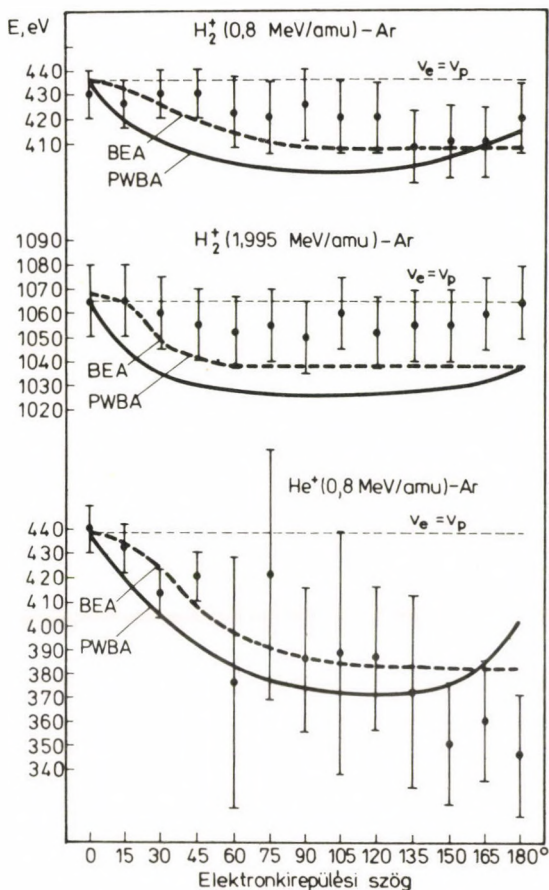
Belső elrendezés és sugármenet az ESA-21 elnevezésű háromfokozatú elektrosztatikus elektronspektrométerben

sikerült meghatároznunk a szóban forgó elektronvesztési csúcsra vonatkozólag, amelyek korábban nem álltak rendelkezésre, és amelyek segítségével közelebb sikerült hatolni a jelenség természetéhez. Láthatjuk pl., hogy a csúcs elhelyezkedésének változása (11. ábra) meny-



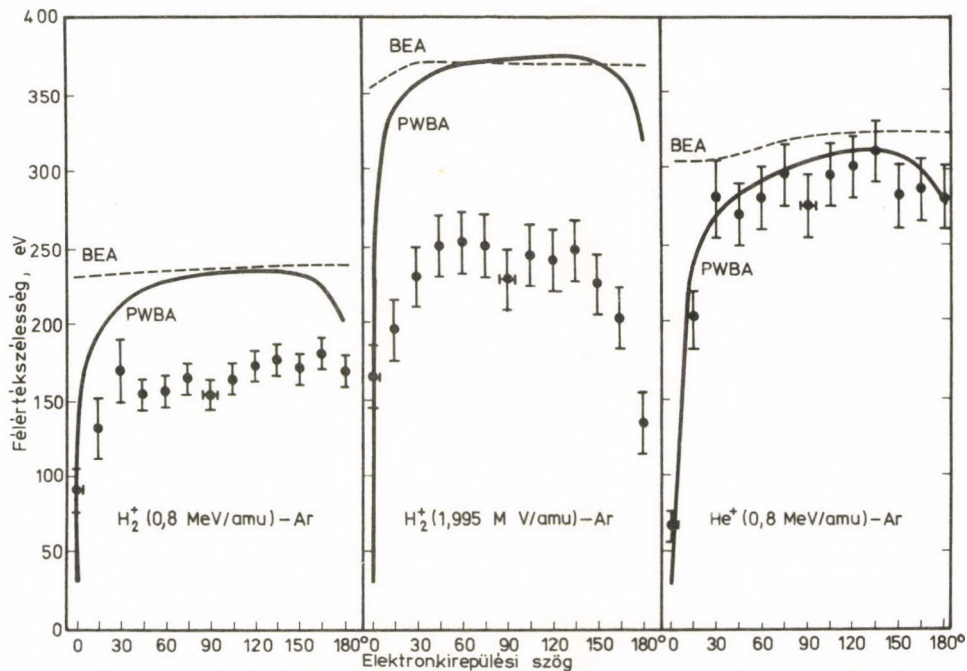
10. ábra Elektronspektrum az elektronvesztési csúccsal, tizenhárom különböző szögben

$H_2^+ (0.8 \text{ MeV/amu}) - \text{Ar}$ ütköztetésű EFA-21 típusú elektronvesztési kísérlet felvétele [20]



11. ábra

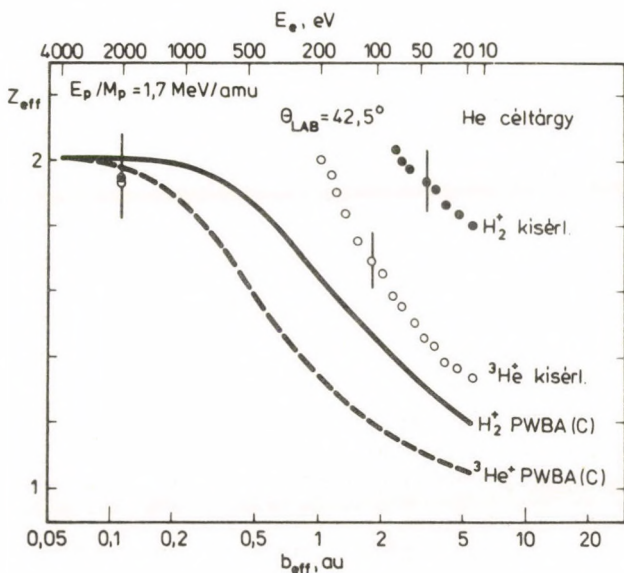
Az elektronvesztési csúcs elhelyezkedése az elektronkibocsátási szög függvényében a H_2^+ , He^+ -Ar ütközésekben, a megfelelő elméleti számítások eredményeivel [31]



12. ábra Az elektronvesztési csúcs félértékszélességének változása az elektronkibocsátási szög függvényében H_2^+ , He^+ -Ar ütközésekben [31]

nyire más képet mutat a He^+ -lövedékion, mint a H_2^+ esetében [31]. Ugyanakkor a csúcs félértékszélességének változása nagyjából hasonlóképpen alakul H_2^+ és He^+ esetében (12. ábra), itt azonban az elméleti számításoktól figyelhető meg nagy eltérés (H_2^+ esetében).

Nemcsak az elektronvesztési csúcsot, de az egész elektronspektrumot egy mágneses elektronspektrométerrel felvéve, a Frankfurti Egyetem (NSZK) Magfizikai Intézetével együttmű-



13. ábra

A lövedék effektív töltésének (Z_{eff}) változása a lövedék és a célatom távolságának (b_{eff}) függvényében az ütközés során [14]

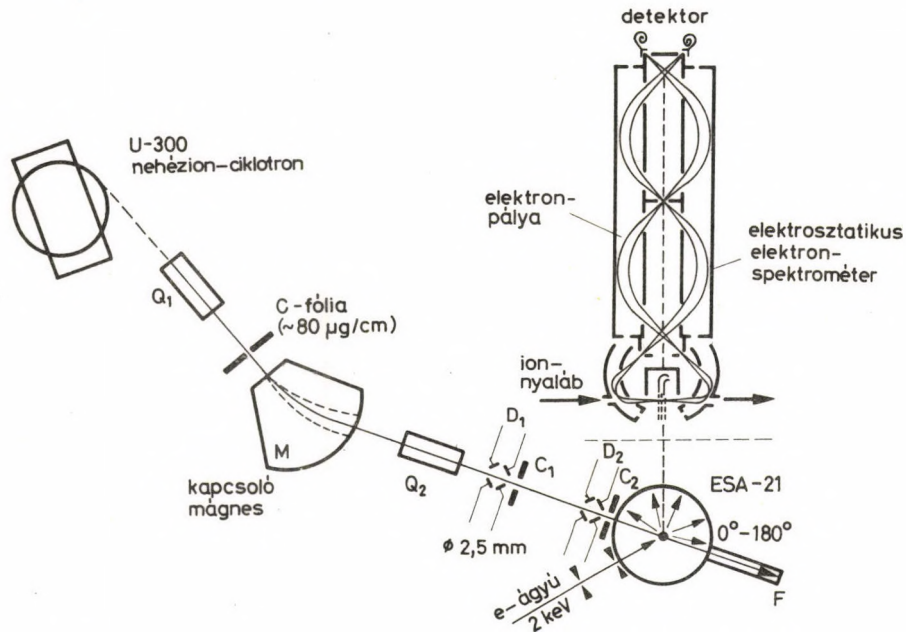
ködésben, születtek az ion-atom ütközésekben fellépő árnyékolásra (Z_{eff}) vonatkozó eredményeink. A 13. ábra mutatja, hogy ha a He^+ -lövedék messze halad el az Ar célatomtól, akkor „óriás protonként” viselkedik ($Z_{\text{eff}} = 1$), míg ha közel halad el, az árnyékoló hatás elhanyagolható ($Z_{\text{eff}} = 2$), közben pedig egy széles átmeneti tartomány helyezkedik el [14].

4.3. Auger-elektronok nehézion-atom ütközésekből

Az ion-atom ütközések kutatásának különösen érdekes területe azoknak az Auger-elektronoknak a vizsgálata, amelyek nagy energiájú ionok és atomok ütközésekor a meglökött célatomból lépnek ki [2], [40, 41].

Felismerve a terület jelentőségét, és tekintetbe véve a dubnai EAI nehézion-gyorsítói által nyújtott lehetőséget, a hetvenes évek végén, a nyolcvanas évek elején egy ilyen irányú kutatási programot készítettünk intézetünkben, csoportunkban [42–44]. Ebben döntő szerep jutott az előző pontban már említett, a világon egyedülálló, ESA–21 jelű elektron-spektrométernek.

Az 1985 nyarán Dubnában befejeződött mérési program adatainak kiértékelése folyamatban van, de az eredmények egy része máris publikálásra került [45–54].



14. ábra Mérési elrendezés az U-300 nehézion-ciklotronnál a nagy energiájú ion-atom ütközések tanulmányozására [51]

1. táblázat. Lövedékionok a dubnai mérésekben

Ion	Energia, MeV/nukleon
C^{2+}	6,9
N^{2+}, N^{7+}	5,1
Ne^{3+}, Ne^{10+}	5,5
$Ar^{6+}, Ar^{16+}, Ar^{17+}, Ar^{18+}$	5,5

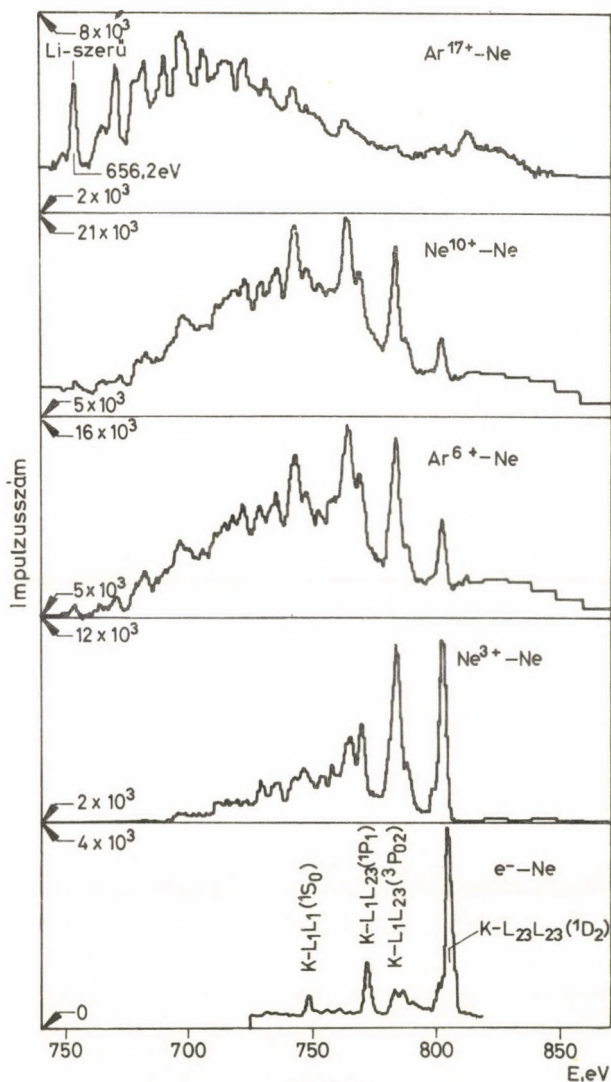
A mérési elrendezésünket a 14. ábra, a mérésekben felhasznált lövedékeket az 1. táblázat mutatja. A célatom minden esetben Ne volt.

A 15. ábra a mért Auger-spektrumok egy sorozatát mutatja, a 16. ábra pedig egy jobb feloldással felvett spektrumrészletet.

Az elért eredmények közül kettőt emelek itt ki. Az egyik a K-héj ionizációval együttjáró L-héj ionizációra (többszörös ionizáció!) vonatkozik. Vizsgálataink előtt feltételezték,

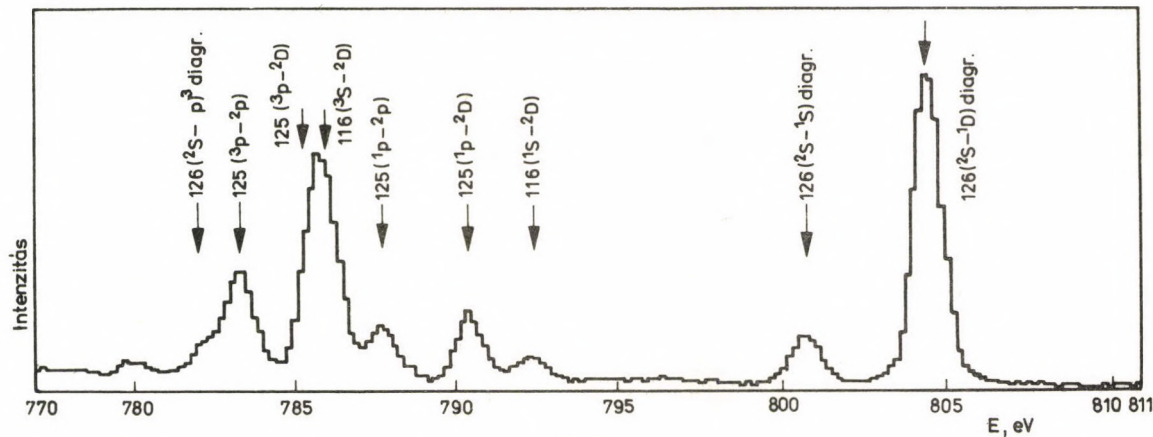
- hogy az egyes L-elektronok ionizációs valószínűsége egymástól független és azonos nagyságú,
- hogy a többszörös ionizáció valószínűsége binomiális eloszlást mutat.

Vizsgálataink mindkét feltételezés érvényét megcáfolták. Ugyanakkor egy egyszerű modell alapján sikerült az L-héj ionizációs valószínűségét (p_L) a kísérletekkel elég jó egyezésben kiszámítani, és így a kísérleti adatokat értelmezni (17. ábra).



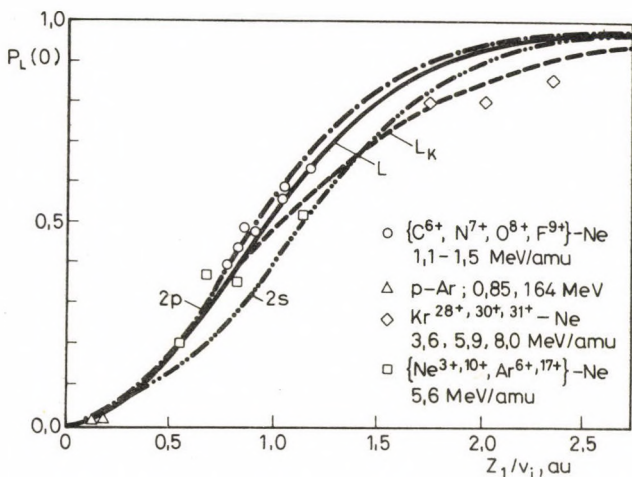
15. ábra

A dubnai mérések során felvett nagy energiájú
nehézion-atom ütközésekből eredő
Ne K Auger-spektrumok egy sorozata [47]



16. ábra

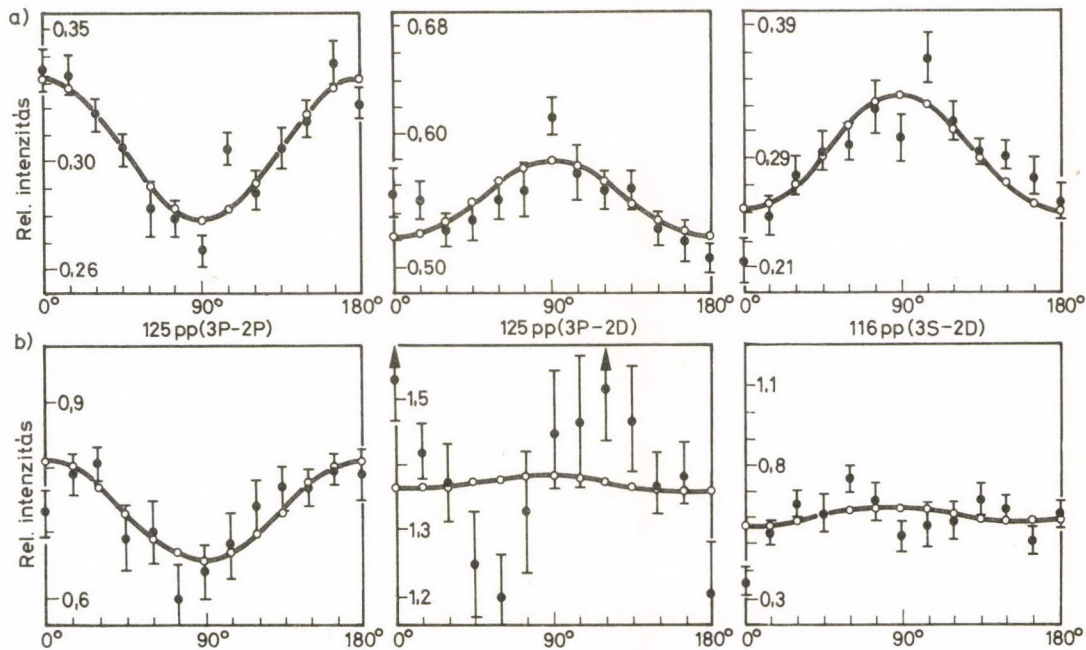
Nagy energiájú nehézion-atom ütközésekből eredő jó feloldású Ne K Auger-spektrum egy részlete [50]



17. ábra

A K-héj ionizációval együtt az L-héjon fellépő ionizáció $p_L(0)$ valószínűsége a Z_1/v_i függvényében, ahol Z_1 a lövedék Z -je és v_i a sebessége. A különböző görbék modellünk alapján végzett különböző számítások eredményei [49]

Másik jelentős eredményünk, hogy a többszörös ionizációt követő Auger-szatellitek esetében az irodalomban először sikerült az izotroptól eltérő szögeloszlást kimutatni (18. ábra). Mint már említettük, a dubnai méréseknek a kiértékelése még folyik, és nem kétséges, hogy az eredmények értékes információt adnak a sokszorososan ionizált atomok szerkezetére vonatkozólag. Bizonyos tendenciákat és szabályszerűségeket már az eddig kiértékelt adatok is sejtetni engednek.



18. ábra Szögelosztások néhány Ne K Auger-szatellit esetére 5,5 MeV/nukleon energiájú Ne^{3+} (a) és Ar^{6+} (b) lövedék esetén [55]

5. FILOZÓFIKUS BEFEJEZŐ GONDOLATOK

Nemcsak a főhatóságoknak és kutatásfinanszírozó szervezeteknek, de a kutatónak önmagának is fel kell tennie a kérdést munkájának értelmét és hasznát illetően. Fel kell ugyanis vetnünk, hogy mi is valójában az értelme az előbbieken ismertetett kutatásoknak és eredményeinek.

Az ember lényegéből eredő kiirthatatlan vágya a környező világ megismerése. Nem kétséges, hogy a bemutatott eredmények — ha szerény mértékben is — érdekes természeti jelenségek megismeréséhez vittek közelebb bennünket. Ugyanakkor ezek és hasonló eredmények más tudományokban és a gyakorlatban máris sikeresen alkalmazott anyagvizsgálati módszerek továbbfejlesztéséhez vezettek (pl. [56, 57]).

Azt gondolom, hogy a tudománytól többet nem várhatunk. Bármilyen csodálatosak is a tudomány eredményei, a tudomány csakis az emberiség szerény szolgája lehet. A tudománynak mindig az ártott legtöbbet, ha a bölcsek kövének szerepét igyekeztek ráruházni.

Az ion-atom ütközési kutatásokban az elmúlt évek során számos kutató részt vett intézetünkben. Még nagyobb ez a szám, ha a külföldi együttműködőket is tekintetbe vesszük. Ezen munkák nagy részében magam is részt vettem. Örülök, hogy együtt dolgozhattam

annyi kedves kollégával, baráttal, és őszintén remélem, hogy erre a jövőben is lesz módom.

Ha csak azokat tekintem, akik az itt bemutatott munkákban részt vettek, azok közül is csak a magyarokat, akkor is számos nevet kell felsorolnom, nevezetesen Cserny Istvánt, Gulyás Lászlót, Halász Tibornét, Hoch Gábort, Kádár Imrét, Köblös Józsefet, Kövér Ákost, Kövér Lászlót, Mórik Gyulát, Ricz Sándort, Sulik Bélát, Szabó Gyulát, Varga Dezsőt, Végh Jánost. Jó volt velük osztózni a közös munka örömeiben és problémáiban, és köszönöm nekik, hogy mindnyájan erejük és tehetségük legjavával járultak hozzá a közös erőfeszítéssel elért eredményekhez.

IRODALOM

1. M. E. RUDD, *Rad. Research* **64** (1975) 153.
2. N. STOLTERFOHT, *Topics in Current Phys.* **5** (1978) 155.
3. D. BERÉNYI, *Adv. Electronics and El. Phys.* **56** (1981) 411.
4. K. BERGMANN, F. BOSCH and F. A. GIANTURCO, *Europhys. News* **12** (1981) No. 1. p. 3.
5. D. BERÉNYI, *Proc. Int. School-Seminar on Heavy Ion Physics*, Alushta, 14–21. April 1983. Dubna, 1983. p. 489.
6. N. STOLTERFOHT, *Fundamental Processes in Energetic Atomic Collisions*. Ed. H. O. LUTZ, J. S. BRIGGS and H. KLEINPOPPEN. Plenum Press, New York, 1983. p. 295.
7. D. BERÉNYI, *Proc. Int. Conf. X-Ray and Inner Shell Processes*, Leipzig, Aug. 20–24, 1984. K. Marx Univ., Leipzig, 1984. p. 207.
8. J. S. BRIGGS and K. TAULBJERG, *Europhys. News* **16** (1985) No. 1. p. 6.
9. D. BERÉNYI, *Proc. Brasov Int. School*. Aug. 28–Sept. 8., 1984. Ed. A. BERINDE, et al., Central Inst. of Phys., Bucharest, 1986. p. 161.
10. D. BERÉNYI, *Vacuum*, in press.
11. C. E. KUYATT and T. JORGENSEN, JR., *Phys. Rev.* **130** (1963) 1444.
12. M. E. RUDD and T. JORGENSEN, JR., *Phys. Rev.* **131** (1963) 666.
13. C. B. CROOKS and M. E. RUDD, *Phys. Rev. Lett.* **25** (1970) 1599.
14. J. SCHADER, R. LATZ, M. BURKHARD, H. J. FRISCHKORN, D. HOFMANN, P. KOSCHAR, K. O. GROENEVELD, D. BERÉNYI, A. KÖVÉR and GY. SZABÓ, *J. Physique Lett.* **45** (1984) L249.
15. A. KÖVÉR, E. SZMOLA, GY. SZABÓ, G. HOCK, D. BERÉNYI, M. BURKHARD and K. O. GROENEVELD, *Proc. Conf. X84*, Leipzig, Aug. 20–24, Abstracts. Leipzig, 1984. p. 256.

16. D. BERÉNYI, L. GULYÁS, Á. KÖVÉR, E. SZMOLA, GY. SZABÓ, M. BURKHARD and K. O. GROENEVELD, "Forward Electron Ejection in Ion Collisions" Proc. Symp. Aarhus, Denmark, 1984. Ed. K. O. GROENEVELD, W. MECKBACH, I. A. SELLIN: Springer Verlag, Berlin, 1984. p. 71.
17. Á. KÖVÉR, GY. SZABÓ, M. BURKHARD, P. KOSCHAR, O. HEIL, J. SCHADER, J. KEMMLER, W. LOTZ, G. SCHÜSSLER, D. HOFMANN, K. O. GROENEVELD and D. BERÉNYI, 2nd ECAMP, Amsterdam, April 15–19, 1985. Book of Abstracts. p. 432.
18. Á. KÖVÉR, GY. SZABÓ, D. BERÉNYI, L. GULYÁS, K. O. GROENEVELD, D. HOFMANN and M. BURKHARD, ICPIG–XVII. Contr. Papers. Budapest, July 2–5, 1985. p. 395.
19. D. BERÉNYI, Á. KÖVÉR, GY. SZABÓ, L. GULYÁS, K. O. GROENEVELD, D. HOFMANN and M. BURKHARD, ICPEAC–XIV. Palo Alto, July 24–30, 1985. Book of Abstr. p. 530.
20. A. SALIN, J. Phys. B 2 (1969) 631.
21. J. MACEK, Phys. Rev. A 1 (1970) 235.
22. D. H. JAKUBASSA–AMUNDSEN, J. Phys. B 16 (1983) 1767.
23. R. O. BARACHINA and C. R. GARIBOTTI, Phys. Rev. 28 (1983) 1821.
24. M. M. DUNCAN and M. G. MENENDEZ, Phys. Lett. 56A (1976) 177.
25. M. G. MENENDEZ, M. M. DUNCAN, F. L. EISELE and B. R. JUNKER, Phys. Rev. 15 (1977) 80.
26. F. DREPPER and J. S. BRIGGS, J. Phys. B 9 (1976) 2063.
27. "Forward Electron Ejection in Ion Collisions". Proc. Symp. Aarhus, Denmark, June 29–30, 1984. Ed. K. O. GROENEVELD, W. MECKBACH and I. A. SELLIN. Springer Verlag, Berlin, 1984.
28. Á. KÖVÉR, GY. SZABÓ, D. BERÉNYI, L. GULYÁS, I. CSERNY, K. O. GROENEVELD, D. HOFMANN, P. KOSCHAR and M. BURKHARD, J. Phys. B 19 (1982) 1187.
29. L. GULYÁS, GY. SZABÓ, D. BERÉNYI, Á. KÖVÉR, K. O. GROENEVELD, D. HOFMANN and M. BURKHARD, Phys. Rev. A 34 (1986) 2751.

30. K. DETTMANN, K. G. HARRISON and M. W. LUCAS, *J. Phys. B* 7 (1974) 269.
31. Á. KÖVÉR, D. VARGA, D. BERÉNYI, I. KÁDÁR, S. RICZ, J. VÉGH, and G. HOCK, *J. Phys. B* 16 (1983) 1017.
32. D. BURCH, H. WIEMAN and W. B. INGALBS, *Phys. Rev. Lett.* 30 (1973) 823.
33. W. E. WILSON and L. H. TOBUREN, *Phys. Rev. A* 7 (1973) 1535.
34. N. STOLTERFOHT, D. SCHNEIDER, D. BURCH, H. WIEMAN and J. S. RISLEY, *Phys. Rev. Lett.* 33 (1974) 59.
35. M. M. DUNCAN and M. G. MENENDEZ, *Phys. Rev. A* 19 (1979) 49.
36. M. BREINIG, M. M. SCHAUER, I. A. SELLIN, S. B. ELSTON, C. R. VANE, R. S. THOE and M. SUTER, *J. Phys. B* 14 (1981) L291.
37. Á. KÖVÉR, S. RICZ, GY. SZABÓ, D. BERÉNYI, E. KOLTAY and J. VÉGH, *Phys. Lett.* 79A (1980) 305.
38. Á. KÖVÉR, GY. SZABÓ, D. BERÉNYI, D. VARGA, I. KÁDÁR, S. RICZ and J. VÉGH, *Phys. Lett.* 89A (1982) 71.
39. D. BERÉNYI, *X-Ray and Atomic Inner-Shell Physics*, 1982. Ed. B. CRASEMANN. Am. Inst. Phys., New York, 1982. p. 158.
40. N. STOLTERFOHT, *IEEE Trans. Nucl. Sci.* 76 (1976) 311.
41. D. SCHNEIDER, M. PROST, R. DuBOIS and N. STOLTERFOHT, *Phys. Rev. A* 25 (1982) 3102.
42. D. BERÉNYI, *Proc. Int. Sem. on High Energy Ion-Atom Collision Processes*. Debrecen, 17–19 March 1981. Ed. D. BERÉNYI and G. HOCK. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1982. p. 131.
43. D. BERÉNYI, *Acta Phys. Hung.* 51 (1981) 157 (oroszul).
44. BERÉNYI D., *Magyar Tudomány* 27 (1982) 14.
45. D. VARGA, J. VÉGH, I. KÁDÁR, V. N. MELNIKOV, S. RICZ, B. SULIK, V. A. SHCHEGOLEV, D. BERÉNYI, Á. KÖVÉR and I. CSERNY, *Proc. Conf. on Exp. U-400*. Dresden, 30 Sept.–4 Oct., 1982. Dubna, 1982. D7–82–891. p. 82 (oroszul).

46. D. VARGA, J. VÉGH, I. KÁDÁR, S. RICZ, B. SULIK, V. A. SHCHEGOLEV and D. BERÉNYI, Int. School-Seminar on Heavy Ion Physics. Abstracts. Alushta, Crimea, April 14–21, 1983. p. 71 (oroszul).
47. D. BERÉNYI, G. HOCK, I. KÁDÁR, S. RICZ, V. A. SHCHEGOLEV, B. SULIK, D. VARGA and J. VÉGH, ICPEAC–XIII. Berlin, July 27–Aug. 2 1983. Abstr. Contr. Papers. p. 390.
48. D. VARGA, J. VÉGH, I. KÁDÁR, S. RICZ, B. SULIK, V. A. SHCHEGOLEV and D. BERÉNYI, Proc. Int. School-Seminar on Heavy Ion Physics. Alushta, Crimea, April 14–21, 1983. D7–83–644. Dubna, 1983. p. 509 (oroszul).
49. B. SULIK, G. HOCK and D. BERÉNYI, J. Phys. B 17 (1984) 3239.
50. S. RICZ, I. KÁDÁR, D. VARGA, J. VÉGH, I. BORBÉLY, D. BERÉNYI, G. HOCK and B. SULIK, Proc. Conf. X84. Leipzig, Aug. 20–24, 1984. Leipzig, 1984. p. 376.
51. I. KÁDÁR, S. RICZ, V. A. SHCHEGOLEV, B. SULIK, D. VARGA, J. VÉGH, D. BERÉNYI and G. HOCK, J. Phys. B 18 (1985) 275.
52. S. RICZ, I. KÁDÁR, D. VARGA, J. VÉGH, T. BORBÉLY, V. A. SHCHEGOLEV, D. BERÉNYI, G. HOCK and B. SULIK, Proc. 2nd Workshop on High-Energy Ion-Atom Collisions. Ed. D. BERÉNYI and G. HOCK. Aug. 27–28, 1984, Debrecen. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1985. p. 171.
53. I. KÁDÁR, S. RICZ, V. A. SHCHEGOLEV, D. VARGA, J. VÉGH, D. BERÉNYI, G. HOCK and B. SULIK, közlésre beküldve a Phys. Letters-hez; Dubnai preprint, 1985. E7–85–656.
54. S. RICZ, I. KÁDÁR, V. A. SHCHEGOLEV, D. VARGA, J. VÉGH, D. BERÉNYI, G. HOCK and B. SULIK, közlésre beküldve a J. Phys. B-hez; Dubnai preprint, 1985, E7–85–655.
55. S. RICZ, I. KÁDÁR, V. A. SHCHEGOLEV, D. VARGA, J. VÉGH, D. BERÉNYI, G. HOCK and B. SULIK, közlése előkészületben.
56. J. VÉGH, D. BERÉNYI, E. KOLTAY, I. KISS, S. SEIFEL-NASR and L. SARKADI, Nucl. Instr. Meth. 153 (1978) 553.
57. L. KÖVÉR, CS. UJHELYI, D. BERÉNYI, D. VARGA, I. KÁDÁR and Á. KÖVÉR, J. Electron Spect. and Rel. Phenom. 14 (1978) 201.

A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó és Nyomda főigazgatója

Felelős szerkesztő: Sente László

A tipográfia és a kötéster Löblin Judit munkája

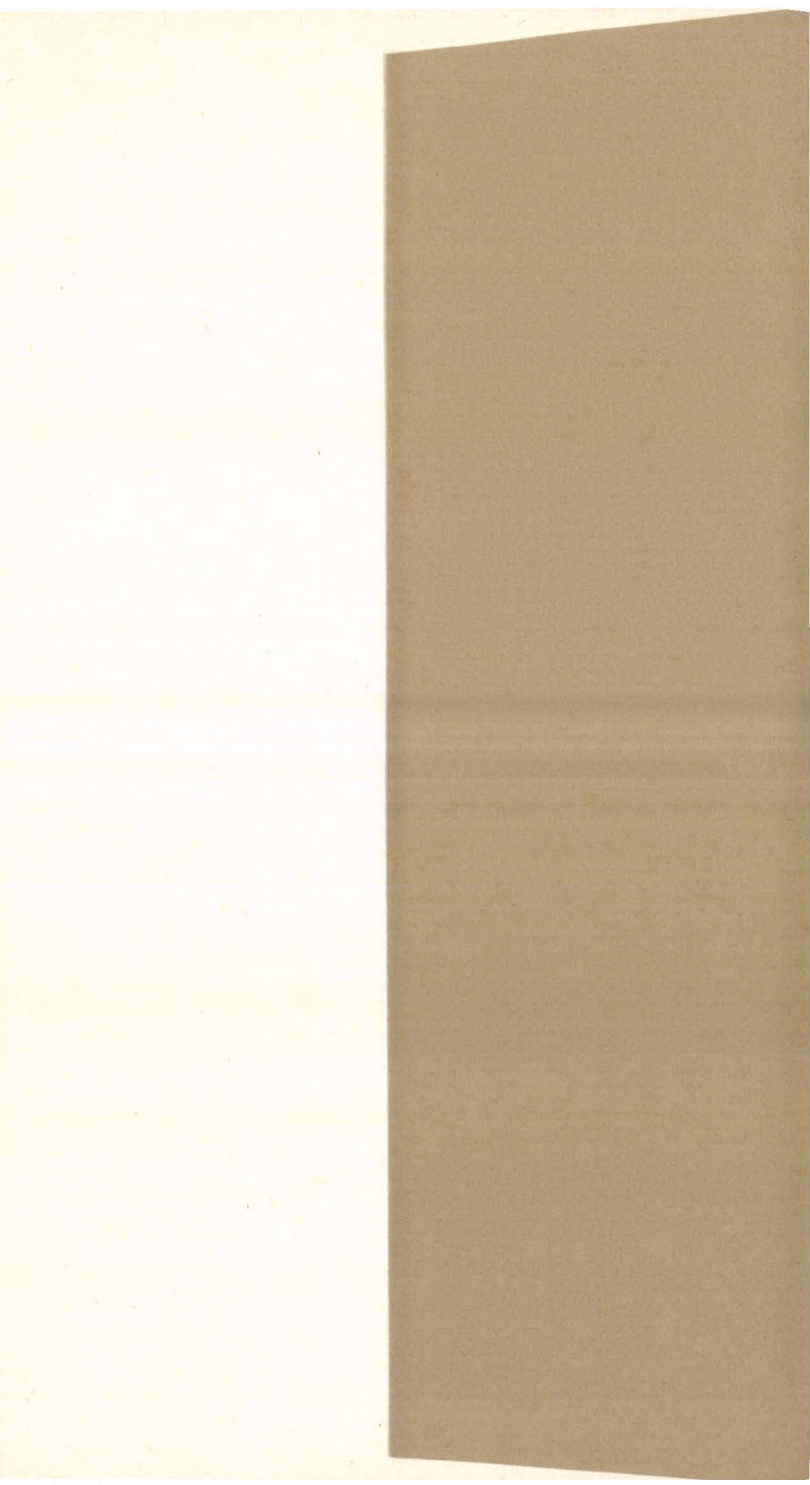
Műszaki szerkesztő: Kiss Zsuzsa

Terjedelem: 1,97 (A/5) ív

HU ISSN 0236-6258

87.16441 Akadémiai Kiadó és Nyomda

Felelős vezető: Hazai György



Ára: 16,- Ft